



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

RECEIVED

JAN 18 2002

TC 2800 MAIL ROOM

In re PATENT application of:

Applicant(s): Theva Dünnschichttechnik GmbH  
Serial No: 09/854,422  
Filed: May 11, 2001  
Title: SUPERCONDUCTING SWITCHING ELEMENT AND METHOD

Examiner:

Art Unit:

Docket Number: BARDP0115US

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT(S)

Commissioner for Patents  
United States Patent and Trademark Office  
Washington, D.C. 20231

Dear Sir:

Regarding applicant's claim to convention priority, enclosed herewith is/are  
certified copy/copies of the following priority application(s):

**DE 100 23 547.6 dated May 15, 2000**

Please acknowledge receipt of the enclosed priority document(s).

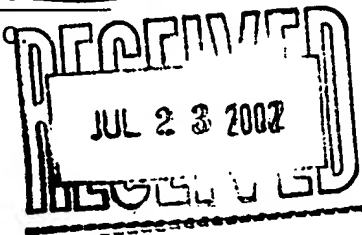
Respectfully submitted,

RENNER, OTTO, BOISSELLE & SKLAR

By

Don W. Bulson, Reg. No.

1621 Euclid Avenue  
Nineteenth Floor  
Cleveland, Ohio 44115  
(216) 621-1113



CERTIFICATE OF MAILING

I hereby certify that this correspondence (along with any paper referenced to as being attached or enclosed) is being deposited with the United States Postal Service on the date shown below with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to Commissioner for Patents, United States Patent and Trademark Office, Washington, D.C. 20231.

Date: November 13, 2001

Shari Saus

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 100 23 547.6

**Anmeldetag:** 15. Mai 2000

**Anmelder/Inhaber:** THEVA Dünnschichttechnik GmbH,  
Eching, Kr Freising/DE

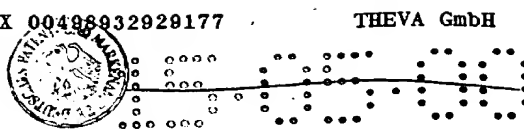
**Bezeichnung:** Verfahren zur Steuerung eines supraleitenden  
Schaltelements und Vorrichtungen die auf einem sol-  
chen Schaltelement basieren

**IPC:** H 03 K 17/92

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 21. Mai 2001  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Brand



## **Verfahren zur Steuerung eines supraleitenden Schaltelements und Vorrichtungen die auf einem solchen Schaltelement basieren**

### **Beschreibung**

Supraleitende Schaltelemente, die gezielt in sehr kurzer Zeit vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand geschaltet werden können, lassen sich in der Hochleistungselektronik für eine große Anzahl von Geräten einsetzen, insbesondere in solchen Fällen, in denen die Spannungsfestigkeit von Halbleiterbauelementen nicht ausreicht. Einige Beispiele für solche Geräte, deren Funktion durch supraleitenden Leistungsschalter verbessert werden kann sind, Strombegrenzer, Gleich- und Wechselrichter, Hochfeldmagnete und magnetische Energiespeicher.

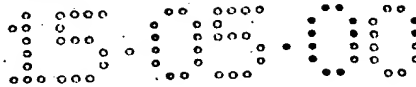
Hochfeldmagnete oder magnetische Energiespeicher (SMES), basieren darauf, daß ein starker, in einer supraleitenden Spule oder geschlossenen Schleife kreisender Dauerstrom ein sehr hohes Magnetfeld aufrecht erhält. Zum Aufbau des Magnetfelds bzw. zum Abrufen der gespeicherten Feldenergie muß die geschlossene Stromschleife mit einem äußeren Stromkreis in Verbindung gebracht werden. Dieser stellt entweder die Stromquelle oder eine zu versorgende Last dar.

Im Falle des Magneten kann durch periodisches Öffnen und Schließen von supraleitenden Schaltern erreicht werden, daß der magnetische Fluß in der Magnetspule schrittweise ansteigt, ein Konzept das auch als Flußpumpe bekannt ist. Dadurch läßt sich der Spulenstrom als Summe kleiner Stromstärkezuwächse erzeugen, statt durch eine aufwendige Hochstromversorgung. Im Falle des Energiespeichers will man erreichen, daß Schwankungen der Netzleistung durch kurzzeitiges Zuschalten des Energiespeichers geglättet werden. In beiden Fällen braucht man einen Schaltvorgang, den man sehr schnell aktiv regeln kann.

Ein supraleitender Schalter kann ebenfalls als Strombegrenzer in Stromnetze eingebaut werden, um im Falle von Kurzschlüssen und Stromspitzen, den Strom auf einen tolerierbaren Wert zu begrenzen und quasi als Sicherung zu fungieren. Auch in dieser Konfiguration ist ein aktives Auslösen des Schalters von Vorteil und kann zu einer Verbesserung der Funktion führen. Auch für Hochleistungs-Gleich- und Wechselrichter ist ein aktives Auslösen des supraleitenden Schalters unabdingbar. Derartige Anordnungen werden zum Umrichten des Strom bei Transfer über lange Strecken (z. B. Gleichstromunterseekabel etc) benötigt.

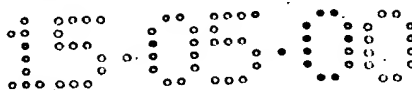
Supraleitende Schalter wurden bereits auf Basis klassischer, metallischer Supraleiter wie Niob etc. beschrieben. Da diese klassischen Supraleiter jedoch auch sehr gute Normalleiter mit sehr niedrigem Widerstand sind, ist die Höhe des Schaltsignals sehr gering und man muß entsprechend viel Material verwenden, z.B. in Form eines langen, zu einer Spule gewickelten Drahtes, um einen deutlichen Widerstandsanstieg im Stromkreis zu erzielen. Durch die Menge des benötigten Materials ist die thermische Trägheit jedoch sehr hoch und der Schalter benötigt eine lange Rückkühlzeit (mehrere zehn Sekunden bis Minuten) bis er wieder betätigt werden kann.

Im Gegensatz dazu sind Hochtemperatursupraleiter sehr schlechte Leiter im Normalzustand. In Form dünner Filme auf einem Trägersubstrat ist die thermische Zeitkonstante um Größenordnungen geringer (im Bereich Millisekunden). Aus diesem Grund sind resistive Schalter auf Basis dünner HTS Schichten von hohem Interesse für die oben beschriebenen Anwendungen.



Das eigentliche Problem besteht nun darin, einen derartigen Schalter aktiv, d.h. von außen gezielt auszulösen. Gegenstand der Erfindung ist ein nachfolgend beschriebenes Verfahren zur Auslösung des Schalters durch Einstrahlung eines schnell veränderlichen, magnetischen Feldes. Bei der folgenden Beschreibung geschieht die Einstrahlung des Feldes in Form von hochfrequenten Pulsen fester Frequenz. Die gleichen Effekte lassen sich jedoch auch mit Feldern erreichen, die sich aus verschiedenen Frequenzen zusammensetzen. Damit ist die Auslösung nicht auf reine hochfrequente Sinusschwingungen beschränkt, sondern lässt sich allgemein durch Gleichspannungspulse erreichen, deren Anstiegs- und Abfallflanken hochfrequente Fourierkomponenten enthalten, die den im Experiment im Anschluss gezeigten Erregerfrequenzen äquivalent sind.

Die Dauer des angelegten Pulses spielt nur insofern eine Rolle, als dass sie lange genug gewählt werden muss, um den Schaltvorgang auszulösen.



### Einleitung:

Es wurde ein Verfahren zur Hochfrequenzauslösung von supraleitenden Schaltern untersucht. Dabei wurde ein supraleitender Film in die Nähe der Hochfrequenzspule eines Schwingkreises gebracht und kurzzeitig einem magnetischen Wechselfeld ausgesetzt. Dieses bedingte einen Übergang des Supraleiters in die Normalleitung (Schaltvorgang).

Für die Messungen wurden mit Hilfe des thermisch reaktiven Koverdampfens  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  Filme mit einer Dicke von 300 nm auf Saphir abgeschieden. Anschließend wurden Streifen mit einer 4,2 cm Länge und 1 cm Breite naßchemisch geätzt. Zusätzliche zum Supraleiter wurde in situ eine Goldschicht aufgedampft, welche anschließend bis auf die Kontakte wieder entfernt wurde.

### Meßaufbau:

Abbildung 1 zeigt schematisch den Meßaufbau. Die vom Generator erzeugte Hochfrequenz wird zunächst verstärkt und anschließend über einen seriell geschalteten Kondensator (10C) in den Schwingkreis eingekoppelt.

Die Gesamtkapazität der Kondensatoren wird dabei auf die gewünschte Resonanzfrequenz des Schwingkreises ausgelegt. Nach der Resonanzbedingung gilt für  $L$ =Induktivität,  $C$ =Kapazität,  $\omega_0$ =Resonanzkreisfrequenz und  $f_0$ =Resonanzfrequenz:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad \text{und} \quad \omega_0 = 2\pi f_0; \quad \text{damit folgt} \quad C_{\text{ges}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi^2 f_0^2 L}}$$

Für die Kapazität  $C$  gilt  $C = \frac{11}{10} C_{\text{ges}}$ .

Der Schwingkreis wird auf Resonanz abgestimmt, um eine maximale Energiedeposition zu erreichen.

Als Spule wird eine  $35\mu\text{m}$  dicke Leiterspule aus Cu verwendet. Diese wird photolithographisch aus einer Leiterplatte auf Epoxid Glashartgewebe FR4 (1,4mm stark) strukturiert. Die geometrischen Ausführungen der Spule sind im Abschnitt „Durchgeführte Messungen“ näher erläutert.

Durch die Leiterplatte werden auf der Rückseite zwei Glimmer Kondensatoren ( $C$ ; 10C) kontaktiert. Diese weisen eine gute Beständigkeit gegen starke Temperaturgradienten auf.

Sowohl Supraleiter als auch Schwingkreis befinden sich in einem PVC-Becken, welches mit flüssigem Stickstoff gefüllt ist. Dabei sind Supraleiter und Spule mit einer Kaptonfolie voneinander isoliert.

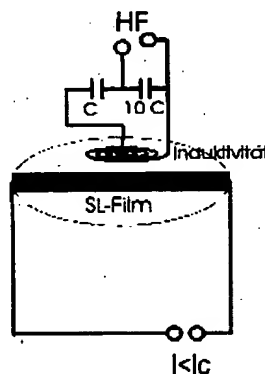
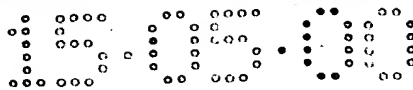


Abb. 1: Schematischer Aufbau

### Durchgeführte Messungen:

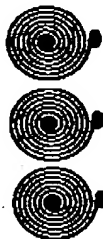
Der Supraleiter wird mit einem Gleichstrom, welcher ca. 90% des Schaltstromes beträgt, belastet. Als Schaltstrom ist dabei der Strom definiert, bei dem der Supraleiter in die



Normalleitung übergeht. Mittels der Spule wird kurzzeitig Leistung über den Schwingkreis in den Supraleiter eingekoppelt, so daß dieser in die Normalleitung übergeht.

Die verwendeten HF-Spulen sind als Flachspulen ausgeführt und weisen eine Größe von ca. 10mm x 40mm auf. Damit überdecken sie den SL-Film fast vollständig. Spule1 und Spule2 waren Testspulen für die Konfiguration des Meßaufbaus. Abbildung 2 zeigt die für die ersten Messungen benutzten Spulen drei und vier. Spule 3 ist aus drei Flachspulen mit jeweils sechs Windungen, in Serie geschaltet, zusammengesetzt. Diese Konfiguration weist eine Gesamtinduktivität von  $8,825\mu\text{H}$ . Spule 4 ist eine Spule mit elf Windungen und hat eine Induktivität von  $1,5\mu\text{H}$ .

Spule 3:



Spule 4:



Abbildung 2: Spulenkonfiguration

Zunächst wurden erste Vergleichsmessungen bei verschiedenen Frequenzen und verschiedenen Spulen durchgeführt.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft eine solche Messung. Hier wurde der Strom (rot) und die am SL-Film abfallende Spannung (blau) gemessen.

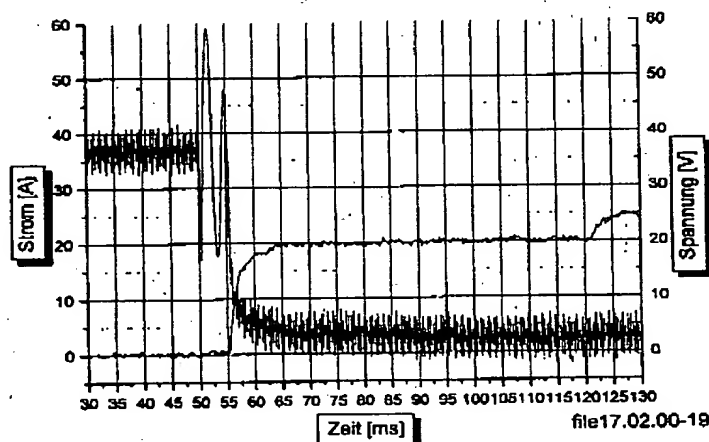


Abbildung 3: Beispiel eines Schaltvorganges mit Hilfe eines Hochfrequenzpulses.

Zunächst wurde an den Supraleiter ein Vorstrom von ca. 36 A angelegt. Anschließend wurde der Supraleiter für 5 ms (11W / 22,3 MHz) über die Hochfrequenzspule belastet. Dadurch wurde ein Schaltvorgang und damit eine Strombegrenzung auf ca. 15% des Vorstromes erreicht.



Diese Messungen wurden für verschiedene Frequenzen und Leistungen durchgeführt. Dabei wurde der Zeitraum zwischen Anlegen des Pulses und Schaltvorgang bestimmt (Schaltzeit  $t$ ). Bei den ersten Messungen ergaben sich kürzeste Schaltzeiten von fünf Millisekunden. Abbildung 4 beinhaltet - exemplarisch für verschiedene Frequenzen - die dem HF-Schwingkreis zugeführte Leistung aufgetragen gegen die Schaltzeit. Hierbei zeigt sich ein exponentieller Zusammenhang.

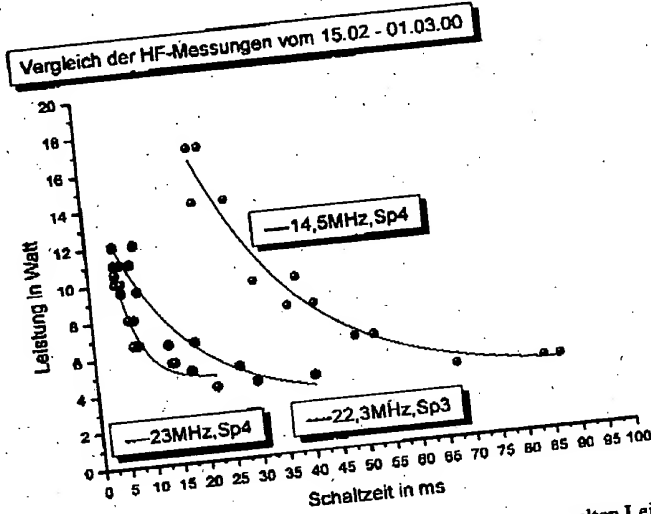
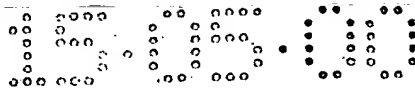


Abbildung 4: Abhängigkeit der Schaltzeit  $t$  von der eingekoppelten Leistung



### Ansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines supraleitenden Bauelements dadurch gekennzeichnet, daß die Auslösung durch Einstrahlung von elektromagnetischen Hochfrequenzpulsen hervorgerufen wird.
2. Vorrichtung, deren Funktion auf einem aktiv steuerbaren, supraleitenden Bauelement beruht.